

BOLETIN DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE

**Cerámica y Vidrio**  
ARTICULO CORTO

# Una regla de secuencia en la industria cerámica Aplicación a un caso real

**E. VICENS, J.J. ALFARO, J.J. GUARCH**

Grupo de Investigación en Producción

Área de Organización de Empresas

Dpto. de Organización de Empresas, EF y C

E.T.S.I.I. de Valencia. Camino Vera s.n., 46022 VALENCIA.

Es indudable que la gran competencia en todos los sectores industriales está obligando a las empresas a modificar sus hábitos de planificación y programación de la producción. El presente trabajo está centrado en el sector cerámico y pretende abordar desde el estudio de un caso real los problemas derivados de una incorrecta programación de la producción. Tras un repaso por las diferentes alternativas que existen para abordar un correcto control de la actividad productiva (PAC), se propone una heurística que aborda el problema de asignar y secuenciar diferentes y numerosas órdenes de fabricación en un sistema productivo que atiende a una configuración Flow-shop. Tras la adopción de la regla heurística y la experimentación mediante diferentes simulaciones, se aportan destacadas mejoras tanto en las reducciones de los tiempos de fabricación empleados como en la utilización de recursos materiales y humanos.

*Palabras clave: programación, secuenciación, industria cerámica.*

## A sequencing rule at ceramic industry. Approach on a real case.

Undoubtedly, the great competition in every industry is forcing companies to modify its view of the scheduling problem. The present paper is focus on the tiles industry. From the study of a case, a scheduling problem into a flow shop system will be described. After a review for the different alternatives that exit to solve the problem, our proposal is based on a heuristic approach. This approach addresses the problem of assigning and sequencing different production orders in a flow-shop system. Computational testing shows that the heuristic rule provides better results in reducing setup times and improving resources efficiency.

*Keywords: scheduling, tile industry, sequencing.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Las empresas han percibido desde hace tiempo, que la competitividad en los mercados y la permanencia digna en los mismos, pasa por la realización de esfuerzos considerables tanto en las técnicas de fabricación utilizadas como en las acciones organizativas y de gestión adoptadas.

El aumento de la productividad viene dado por una correcta automatización de los procesos, conjugando flexibilidad e integración de todos y cada uno de los recursos disponibles en la política productiva de la empresa. El desarrollo de una planificación de la producción lo más eficaz y realista posible, condicionará los parámetros productivos.

El objetivo de realizar una buena planificación es establecer una serie de planes sucesivos que vayan incrementando su nivel de detalle desde el nivel de la alta dirección hasta el nivel operativo. Es en este nivel operativo donde cobran sentido los problemas de secuenciación, enmarcados todos ellos en la programación de la producción.

Los factores de partida principales que afectan a el sector cerámico y que por tanto influyen en su actividad productiva, son:

- Concentración localizada de las empresas del sector, lo cual implica una gran dificultad para proteger innovaciones tanto a nivel de proceso como de producto.

- Rápido servicio a un cliente que constantemente cambia sus gustos.

- Amplitud de catálogo para adecuarse a las preferencias del consumidor, lo cual se traduce en:

- \* fabricación y diseño de multitud de modelos (tamaños, colores, formas.

- \* ciclos de vida de los modelos realmente cortos.

- \* búsqueda de la máxima rentabilidad económica para cada modelo.

Evidentemente, de estos factores se deducen una serie de problemas que afectan al sector estudiado y que podemos resumir en:

- Disminución del tamaño de lote para cada orden de fabricación emitida.

- \* disminución del coste de utilización de los recursos.

- \* privación de las ventajas de la producción en serie.

- Aumento del catálogo de productos existente y por tanto de la variabilidad de productos que conforma cada plan de producción.

- \* aumento de la problemática de la planificación de la producción.

- \* mayor complejidad en el tratamiento de lotes de productos a nivel logístico.

- Aumento considerable de los cambios de partida incluidos en cada plan de producción.

- \* aumento de la problemática de la programación y secuenciación de operaciones.

- \* disminución de la productividad asociado a una mayor cantidad de tiempo improductivo.

4. Aumento de las dificultades del control de almacenes y manutención de producto semielaborado y acabado.

La enorme competencia dentro del sector cerámico, obliga a las empresas que se mueven en este mercado a hacer frente a la demanda con productos muy personalizados dentro de una gama muy variada, así, se llega a tener extensos catálogos que complican la programación de la producción para abordar tal variedad de modelos.

La empresa analizada se dedica a la fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos, cuya venta se destina al mercado nacional e internacional. Su inversión en diseño, la vocación innovadora, así como su preocupación por la calidad en todas las etapas de fabricación, hace que en la actualidad esta empresa ocupe un lugar destacado en el sector.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Entre los procesos de fabricación habituales en el sector cerámico podemos citar: Monococción y Bicocción. La utilización de uno u otro corresponde sobre todo al tamaño del formato a fabricar, así, para la fabricación de formatos de gran tamaño se emplea el proceso de Bicocción y para formatos de inferior tamaño se emplea el proceso de Monococción. Esta diferenciación se debe a la fragilidad que presentan los formatos grandes cuando se prensa el bizcocho y no pueden ser cocidos hasta después de pasar por las distintas aplicaciones en la línea de esmaltado. Por ello, se les da una primera pasada por el horno para que adquieran cierta dureza y así poder ser manipulados en las líneas de esmaltado con seguridad a la rotura. Más tarde necesitarán otra pasada por el horno.

En la mayoría de las empresas cerámicas, como la que ocupa el caso de este artículo, uno de los aspectos principales que determina y condiciona la flexibilidad de su sistema productivo, es el tiempo necesario para cambiar de partida, o lo que es lo mismo, el tiempo necesario para pasar de fabricar una determinada pieza a otra en la que cambian determinados aspectos de la misma.

El mayor o menor tiempo empleado en la realización de estos cambios condiciona la producción, pero una buena programación de la misma puede establecer secuencias de productos que minimicen en gran medida estos tiempos, ya que entre otras razones, disminuye el número de cambios de partida a realizar.

Como es fácil comprender, los cambios de partida condicionan los costes en los que incurre la empresa, la productividad de la misma, la flexibilidad de operaciones, el tamaño de lote aplicado a cada producto, la capacidad de los almacenes tanto de producto acabado como de producto en curso, etc.

Los ahorros que en cuanto a costes de tiempo y por ello costes

económicos, ocasionados por una deficiente programación de la producción en las empresas cerámicas, dada la enorme variedad de modelos de azulejos que tienen que fabricar, invita acertadamente a sus responsables a realizar estudios que mejoren estos aspectos organizativos, que sin duda pueden reportar cuantiosos ahorros en diferentes partidas.

## 3. ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN

Como se puede observar el sistema de la figura 1 analizado atienden a una configuración de flow-shop o taller de flujo, puesto que todos los trabajos pasan en el mismo orden por cada fase descrita. Cabe puntualizar que las aplicaciones recibidas en las líneas de esmaltado varían evidentemente en función del modelo a fabricar.

Uno de los objetivos fundamentales que se plantean es la necesidad de acortar en la medida de lo posible el tiempo total de realización de cada plan de producción. Minimizar este objetivo implica minimizar los tiempos necesarios para pasar de realizar una orden de fabricación a otra diferente en el mismo recurso, esto incluye los tiempos de ajuste de máquinas y también los tiempos destinados a pruebas iniciales hasta que el producto final tiene una calidad adecuada (la suma de estos dos tiempos lo denominamos a partir de ahora tiempo de cambio de partida).

Como idea fundamental se ha tenido en cuenta una clasificación de los productos del catálogo en familias (dada su extensión) para hacer más fácil la programación de la producción. Esto obedece a la necesidad de hacer más manejable la gestión de los productos y evitar tratar directamente el elevado número de artículos del catálogo.

Esta agrupación de los artículos en familias ayuda a establecer los tiempos de cambio medios para pasar de un artículo de una familia a otro artículo de otra, y utilizar esta información como base de una regla de secuenciación que minimice estos tiempos de cambio. Se define por tanto la familia como aquella agrupación de productos cuyos tiempos de cambio sean similares.

El impacto de la aplicación de diversas reglas heurísticas de prioridad en el sistema de producción debe poderse medir para poder ser comparadas con la situación actual existente en la empresa y estudiar así el efecto que éstas conllevan.

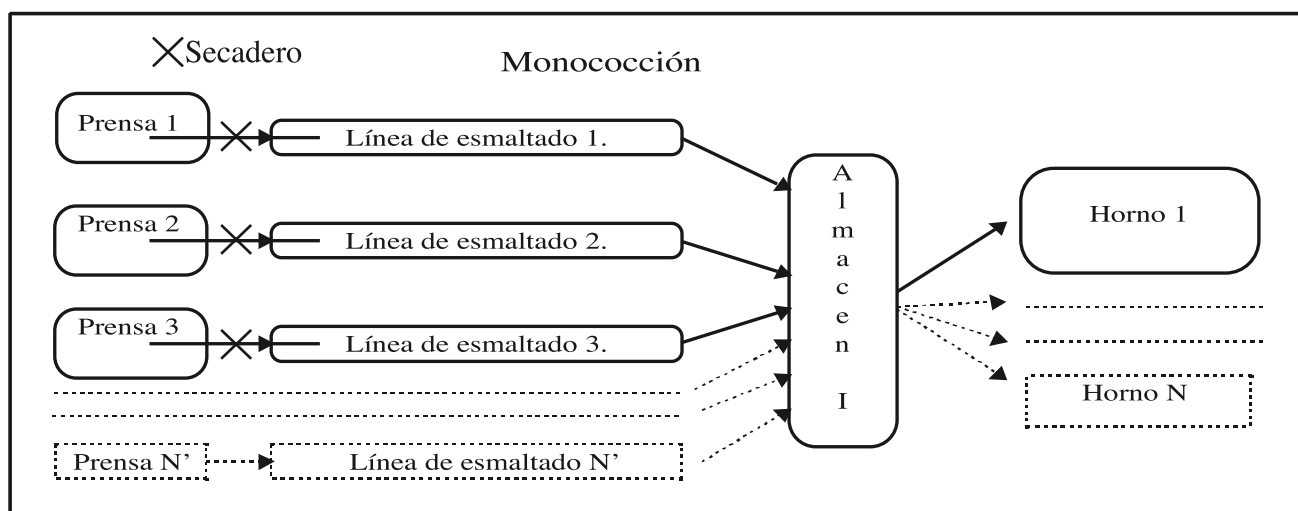


Fig. 1: Proceso productivo de Monococción.

Una de las restricciones fundamentales ha sido la continuidad del proceso que se realiza en hornos. Esto implica que no puede haber rupturas de órdenes de fabricación en estos recursos y que la regla heurística realizará una programación backward chaining (hacia atrás) desde los hornos.

La investigación sobre secuenciación en sistemas de este tipo se centra en la optimización de una serie de parámetros de funcionamiento del sistema:

Tiempo de finalización de la última orden secuenciada perteneciente a un plan de producción. Implica que ha de minimizarse el tiempo de realización del plan maestro de producción.

Tiempo de flujo o suma de los tiempos de finalización de todas las órdenes secuenciadas. Utilización intensiva de recursos y minimización del inventario de semielaborados.

Tardanza o cantidad de tiempo en la que la fecha de finalización de una orden de fabricación sobrepasa su fecha de entrega. Si se acaba antes de la fecha de entrega la tardanza es cero.

En nuestro caso los parámetros a optimizar son:

Asegurar que no hay ruptura de secuencia en hornos, lo cual este proporciona fiabilidad en las fechas de entrega pactadas con antelación.

Minimizar el retraso en completar la producción de las órdenes de fabricación.

Existen varios procedimientos de solución del problema de secuenciación en el taller de flujo, entre ellos se puede citar:

Branch and Bound.

Programación matemática.

Reglas Heurísticas o Metaheurísticas.

La solución del problema que se plantea no es rentable mediante la vía de programación matemática, ya que aunque esta alternativa nos proporcionaría la optimización del proceso, el tiempo computacional requerido debido a la cantidad de restricciones que el mismo necesita sería desorbitado. Por otra parte las incidencias y los imprevistos que día a día se producen obligarían a una nueva ejecución del programa incluyendo estos sucesos, con lo que el tiempo de demora en la nueva obtención de la solución sería difícilmente soportable.

Por esta razón se recurre a la utilización de reglas heurísticas que ofrecen buenas soluciones aunque no óptimas, pero que pueden ser realizadas en tiempos razonables de ordenador.

Para minimizar el tiempo de finalización de la última orden que se introduce en el sistema, se pueden utilizar distintas reglas como la de Campbell, Dudeck y Smith, en la que se crean una serie de máquinas ficticias a las que se les aplica el algoritmo de Johnson. Otra regla que desde los clásicos estudios de Nanot se ha comprobado que minimiza el tiempo de permanencia de las órdenes de fabricación en un sistema productivo es la regla SOT. Esta regla ordena las órdenes en una máquina de menor a mayor tiempos de proceso.

Sin embargo y debido a ciertas deficiencias que se han detectado en la regla SOT, se plantea la regla Covert de Carroll, en la que se ordenan las órdenes de fabricación teniendo en cuenta tanto las fechas de entrega como los tiempos de proceso.

Se puede secuenciar en función de las holguras de las órdenes de fabricación, definiendo holgura como el tiempo resultante de restar a la fecha de inicio de los trabajos las duraciones de los mismos (sin tener en cuenta las colas) y la fecha de entrega.

Por tanto, las reglas de secuenciación son muchas y variadas por lo que pueden plantearse en función de las características del problema que se aborda.

#### 4. PROPUESTA ADOPTADA

Una característica común a todas las reglas heurísticas de prioridad clásicas, es que no tienen en cuenta la existencia de tiempos de cambio de partida. Precisamente en el problema que se analiza, es el elevado valor de los tiempos de cambio un parámetro fundamental a tener en cuenta para poder establecer la secuenciación.

Es por ello, que aunque la idea inicial era aplicar alguna de las reglas clásicas de secuenciación, tras varias simulaciones la conclusión es clara: no sirven para el modelo a utilizar, ya que desprecian los tiempos de cambio que en este caso son bastante amplios en relación al tiempo total de ejecución de un plan de producción. Por ello se ha decidido plantear una regla nueva específica que resuelva este particular problema.

También se ha observado para este problema que no se trata exclusivamente de secuenciar las diferentes órdenes de fabricación programadas, sino que aparece paralelamente un problema de asignación, puesto que hay que decidir en que recurso de cada sección se realiza cada lote de fabricación y en que orden. Recordando que la regla SOT minimiza el flujo o permanencia de las órdenes de trabajo en un taller (objetivo planteado en el estudio), ya sea job shop o flow shop se plantea una regla de ordenación de las órdenes de fabricación en función de la duración de su proceso en cada una de las máquinas del sistema. Esto, sin embargo, provocaría que las órdenes de menor tamaño se procesasen antes, aunque esto implicase que habría que reconfigurar muchas veces cada línea.

Ya se ha comentado el valor tan elevado que suponen los tiempos de cambio de partida en las empresas de este sector y no sería adecuado no considerar el valor de estos tiempos en la heurística, por tanto lo que se propone es aplicar una regla SOT a un tiempo de cada orden de fabricación que sea igual al de proceso en el recurso más el tiempo de cambio necesario para pasar de realizar la orden anterior a la actual (en vez de ser sólo el tiempo de proceso).

Esto sin embargo presenta un problema, los tiempos de fabricación dependen exclusivamente de la orden procesada y son conocidos sin saber la secuencia de fabricación. Sin embargo, los tiempos de cambio dependen de la orden actual y de la anterior, por lo que su conocimiento presupone el determinar la secuencia de fabricación. Por esto es necesario establecer una agrupación que clasifique las órdenes de fabricación en función de sus tiempos de cambio.

Una vez realizadas estas agrupaciones se puede asignar a la máquina que actualmente esté procesando una orden lo más similar posible, con lo que podríamos establecer un criterio de asignación. El otro parámetro de interés es el cumplimiento de las fechas de entrega, también se puede utilizar para secuenciar en cada máquina, una vez asignadas las órdenes de fabricación de tiempo de cambio mínimo. Por lo tanto, se procesarán antes las órdenes de fabricación que tengan la fechas más tempranas de entrega a partir de la actual.

Utilizar la agrupación de piezas en función de los tiempos de cambio puede propiciar situaciones indeseables, como por ejemplo que se sobrecargue alguna máquina mientras otra queda infrautilizada. Esta situación no se puede evitar con esta regla de asignación y secuenciación, por lo que se ha optado por ir asignando familias de órdenes con tiempos de cambio afines de forma nivelada: asignar un grupo a una máquina y luego otro grupo que represente un tiempo de ocupación similar a la otra máquina.

Otro problema que se puede presentar es que dos familias asignadas a la misma línea de esmaltado, en función de que tienen tiempos de cambio similares, deben procesarse a la vez. Estas situaciones se solventan adelantando la entrada a la línea de una de ellas (normalmente la que tenga fecha de entrega más inmediata), o asignándola a otra línea que tenga un tiempo de cambio similar aunque no tan bajo. A cada orden de fabricación se ha de asignar un horno y más tarde una línea de esmaltado. Por lo tanto y con las salvedades que se han comentado, la regla heurística de asignación y secuenciación adoptada queda definida con los algoritmos siguientes (figuras 2 y 3):

Como resultado de las distintas pruebas realizadas sobre diversos planes de producción, se pueden extraer las siguientes conclusiones de la aplicación de la regla heurística:

➤ Se consigue mejorar el tiempo de fabricación de un plan de producción ya que se reduce el tiempo empleado para la realización de un plan a 15 días en una media de 30 horas efectivas de trabajo. El gráfico siguiente muestra las mejoras obtenidas (ver figura 4). Esta reducción de tiempo reporta cuantiosos ahorros en diferentes partidas:

- Medios materiales.
  - disminución del número de cambio de moldes.
  - disminución del ajuste de guías y diversos elementos en las líneas de esmaltado.
  - disminución de ajustes en hornos.
- Medios humanos: Al reducirse el número de cambios no serán necesarias las personas que atienden estas variaciones.
- Ahorro de tiempo de ejecución en la consecución de un plan de producción, ya que nos evitamos innecesarios cambios de partida. Con ello podemos aumentar la producción y el coste unitario por metro de producto acabado será menor.

➤ Sin embargo, la utilización de una regla que exija unas menores pérdidas de tiempo por cambios (o un mejor aprovechamiento de los tiempos) implica que alguna línea finalice su proceso de ejecución en una fecha mucho más tardía o mucho más temprana respecto a las demás líneas.

➤ En la regla de secuenciación planteada se consigue llegar a una solución intermedia de compromiso, con ella conseguimos que las líneas estén moderadamente equilibradas pero al mismo tiempo no se minimizan totalmente los tiempos de cambio. Esta circunstancia tiene que estar supervisada siempre en función de las políticas a seguir por el *Responsable de Producción*. Este planteamiento se modeliza mediante el factor "cte por cambio de familia" utilizado en los diagramas.

➤ La disyuntiva planteada es optar entre planes de producción nivelados en las líneas que producen un número de cambios considerable o un plan de producción que minimice los cambios a costa de que alguna línea termine de realizar su órdenes de producción mucho más tarde que las otras. Con la primera opción podemos regular el almacén intermedio puesto que disminuiremos la producción de las líneas para una misma cantidad de tiempo. Si se ve que el almacén intermedio se vacía se debería de plantear una política de minimización de cambios en las líneas. Uno de los grandes objetivos cumplidos del presente proyecto es que ambas políticas pueden aplicarse utilizando alguna herramienta informática diseñada a tal efecto.

➤ Las prioridades definidas en la fase de planificación suelen distorsionar mejores secuencias de artículos y asignaciones de recursos más eficientes al anteponer las prioridades a mejores aprovechamientos del sistema. El incumplimiento en

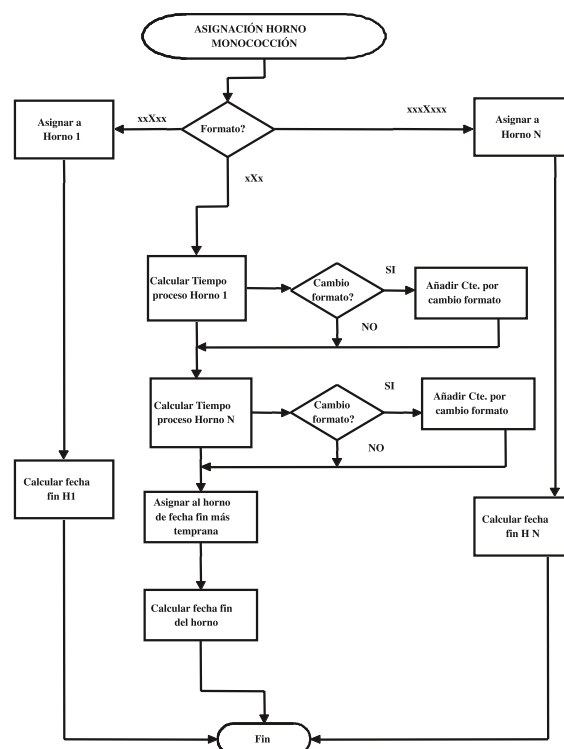


Fig 2: Algoritmo asignación Horno Monococción.

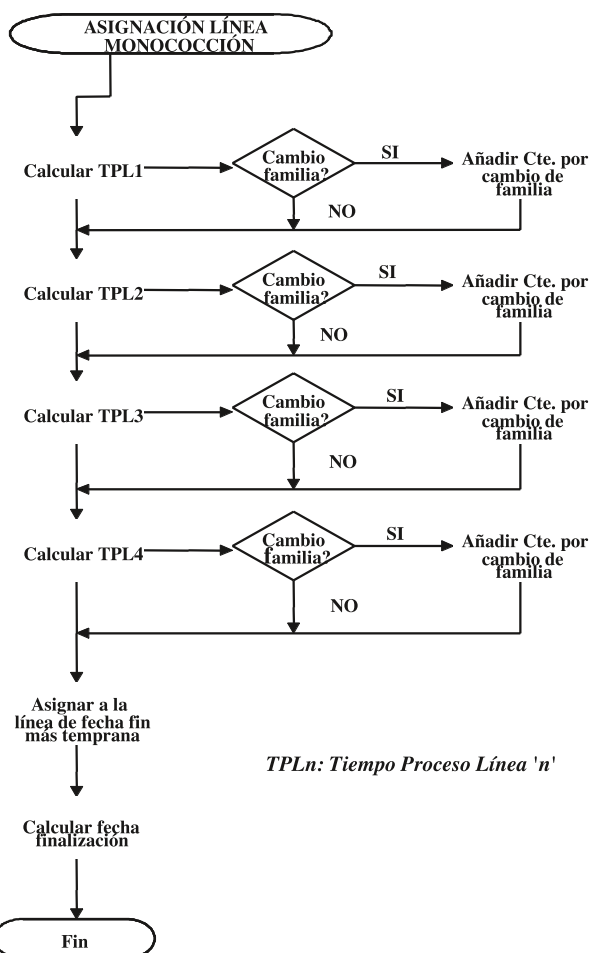


Fig 3: Asignación Línea Monococción



la fecha de entrega de alguna orden de fabricación (dos o tres días) puede beneficiar el tiempo total de ejecución de todo el conjunto de órdenes que componen el plan de fabricación.

Para una buena consecución de los objetivos es hoy por hoy necesaria la implementación de este tipo de soluciones en soporte informático que ayude a los responsables de planificación y control de operaciones a realizar su trabajo fácilmente, sin necesidad de una formación extraordinaria y en un entorno de trabajo adecuado. Por ello se ha diseñado un Software de gestión de la producción denominado PROGRES. Este Software recoge los algoritmos descritos en el presente artículo para la secuenciación de operaciones, la secuenciación de las clasificadoras de material antes de ser paletizadas, así como el control de los almacenes de producto intermedio y final de la planta.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. J. A. Dominguez Machuca; S. García Gonzalez; A. Ruiz Jimenez. "Dirección de Operaciones". McGRAW-HILL 1995.
2. Chase y Aquilano. "Dirección y Administración de la Producción y de las Operaciones". ADDISON-WESLEY. 1992
3. J. Heizer; B. Render. "Production and Operations Management". PRENTICE HALL. 1996
4. Kolisch R. "Project Scheduling Under Resource Constraints". PHYSICA-VERLAG. 1995
5. Bauer, Bowden, Bruwne, Duggan and Lyons. "Shop Floor Control System. From Design to Implementation" Chapman&Hall. 1991

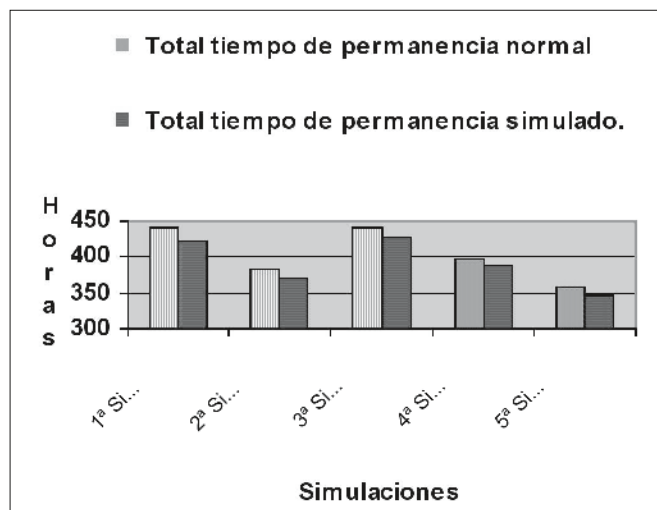


Fig 4: Tiempos simulaciones.

6. Thomas E. Wollman; William L. Berry; D. Clay Whybark. "Sistemas de Planificación y Control de la Producción". IRWIN, 1995.

Recibido: 3-2-99

Aceptado: 1-3-99



INTERNATIONAL EXHIBITION OF CERAMICS  
FOR THE BUILDING INDUSTRY AND BATHROOM FURNISHINGS

# CERSAIE

BOLOGNA ■ ITALY

3 - 8 OCTOBER 2000

Inform@ción:

P.O.Box 103  
40050 CENTERGROSS  
**BOLOGNA**  
(ITALIA)

[www.cersaie.it](http://www.cersaie.it)

• Tel. 051 664 600  
• Fax 051 862 514